Bureau de la sécurité des transports du Canada

Transportation Safety Board of Canada

RAPPORT D'ENQUÊTE AÉRONAUTIQUE
A04P0314

COLLISION AVEC UN PLAN D'EAU

DE L'HÉLICOPTÈRE ROBINSON R-22 BETA C-FHGH
AU LAC MCIVOR (COLOMBIE-BRITANNIQUE)
LE 13 AOÛT 2004

Canada

Le Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST) a enquêté sur cet événement dans le seul but de promouvoir la sécurité des transports. Le Bureau n'est pas habilité à attribuer ni à déterminer les responsabilités civiles ou pénales.

Rapport d'enquête aéronautique

Collision avec un plan d'eau

de l'hélicoptère Robinson R-22 Beta C-FHGH au lac McIvor (Colombie-Britannique) le 13 août 2004

Rapport numéro A04P0314

Sommaire

L'hélicoptère Robinson R-22 Beta (immatriculation C-FHGH et numéro de série 1282) effectue un court vol de jour selon les règles de vol à vue (VFR) entre Campbell River (Colombie-Britannique) et un aérodrome privé situé près du lac McIvor. Alors que l'hélicoptère approche du lac McIvor, le volume sonore et le régime du moteur s'accroissent, puis l'hélicoptère, après s'être mis en cabré, entame une descente abrupte. L'hélicoptère demeure stable, tant directionnellement que latéralement, durant toute sa descente vers le lac. Des bruits de claquement ou de martellement se font entendre durant la descente. Dans les derniers instants de la descente, la translation vers l'avant de l'hélicoptère se ralentit, tandis que son taux de descente verticale s'accroît. L'hélicoptère ne fait apparemment pas d'arrondi avant de toucher le plan d'eau et percute la surface du lac avec une vitesse verticale élevée et un régime de rotor faible. L'hélicoptère coule par environ 30 pieds de profondeur. Le pilote, qui est le seul occupant de l'appareil, est mortellement blessé. L'accident se produit aux environ de 12 h 32, heure avancée du Pacifique.

This report is also available in English.

Autres renseignements de base

Des conditions météorologiques de vol à vue prévalaient au moment des faits. Le pilote était qualifié et possédait des compétences à jour lui permettant d'accomplir ce vol. Il était titulaire d'une licence de pilote privé d'hélicoptère en cours de validité. Il avait achevé sa formation initiale et s'était vu délivrer son permis en avril 2001, et il avait accumulé, au moment de l'accident, 490 heures de vol sur des hélicoptères de type Robinson R-22.

L'hélicoptère endommagé a été récupéré sur le site de l'écrasement et transporté pour examen au bureau régional du BST. La présence d'éraflures sur le ventilateur, sur le carénage et sur les déflecteurs du moteur, ainsi que la déformation du déflecteur du ventilateur de l'alternateur, indiquent que l'arbre du moteur était en rotation au moment où l'hélicoptère a percuté le plan d'eau. Le moteur a été examiné afin de vérifier la présence éventuelle de soupapes d'échappement collées ou de dégâts internes ayant pu contribuer à l'accident. Aucune anomalie n'a été constatée. L'examen des dégâts subis par le fuselage et par les pales du rotor principal a confirmé que l'hélicoptère avait heurté la surface de l'eau avec une vitesse verticale élevée et une faible vitesse de translation vers l'avant. Les dégâts observés sur les pales du rotor principal ont confirmé que le rotor tournait à faible régime au moment de la collision. Des traces de caoutchouc et la nature des dégâts observés indiquaient également que les deux courroies d'entraînement avaient cheminé[1] vers l'avant, hors de leur poulie[2], avant la collision avec le plan d'eau, ce qui a dû avoir pour effet de désaccoupler le moteur et le rotor de l'hélicoptère, entraînant une perte de puissance de ce dernier.

L'hélicoptère avait subi une révision aux 2 200 heures le 19 mai 2004. Le pilote/propriétaire avait connu, après cette révision, des problèmes intermittents d'embrayage du rotor. Le 4 août 2004, il avait appelé le centre de maintenance qui avait effectué cette révision afin de lui indiquer que l'embrayage ne s'enclenchait plus. Un mécanicien avait alors été envoyé à Nanaimo afin d'examiner l'hélicoptère. Lors de cet examen, le mécanicien avait tapoté le moteur de l'actionneur afin de le faire fonctionner. Cette réparation provisoire avait permis au pilote/propriétaire, le 11 août, de ramener l'hélicoptère au centre de maintenance afin que le moteur de l'actionneur y soit remplacé. Une fois ce remplacement effectué, le pilote/propriétaire était venu récupérer son hélicoptère le 13 août afin d'effectuer un court vol à destination du lac McIvor. Lors du départ de ce vol, aucun retard d'enclenchement de l'embrayage n'avait été constaté lors du démarrage, et il est peu probable que le pilote/propriétaire aurait quitté le centre de maintenance s'il avait éprouvé des inquiétudes quant à l'embrayage du rotor. C'est lors de ce vol à destination du lac McIvor que l'accident s'est produit.

Sur les hélicoptères R-22, la puissance produite par l'arbre du moteur est transmise à l'entraînement du rotor par deux doubles courroies trapézoïdales reliant des poulies. L'une de ces poulies est montée à l'extrémité arrière de l'arbre du moteur, tandis que l'autre est montée juste au-dessus, sur l'arbre d'entraînement du boîtier de transmission principal / rotor de queue.

---

1 Par « cheminé», on veut indiquer que les courroies trapézoïdales sont sorties des gorges des poulies et se sont déplacées vers l'avant de l'arbre.

2 Ces poulies sont des roues munies d'une ou plusieurs gorges destinées à recevoir des courroies trapézoïdales.

L'actionneur électrique de tension des courroies, monté entre les poulies supérieures et inférieures, soulève l'arbre supérieur lorsque le levier d'embrayage de la console centrale est placé sur « ENGAGE » (EMBRAYER). Ce déplacement de l'arbre supérieur tend les courroies trapézoïdales qui transmettent alors la puissance du moteur au rotor. Un dispositif, dans l'actionneur de tension de courroies, mesure la compression de charge causée par l'accroissement de la tension des courroies et arrête le moteur de l'actionneur lorsque la tension des courroies trapézoïdales atteint une valeur préétablie. Un accouplement élastique amortit les déplacements de l'arbre qui se produisent lorsque l'entraînement du rotor est embrayé et/ou débrayé.

L'actionneur de tension des courroies qui se trouvait sur l'hélicoptère au moment de l'accident, tout comme l'actionneur qui avait été déposé par le centre de maintenance avant l'accident, ont été envoyés à l'usine de Robinson Helicopter où ils ont été soumis à des essais répondant aux normes du constructeur et se sont révélés être en état de service.

Les courroies trapézoïdales de l'hélicoptère ont également été envoyées à l'usine de Robinson afin d'y subir un examen et des essais. Les courroies trapézoïdales de Robinson sont fabriquées par un seul sous-traitant et doivent être posées sur les hélicoptères par paire de deux courroies assorties. Toutes les courroies, lorsqu'elles sont reçues de ce sous-traitant, font l'objet d'un processus de contrôle de la qualité de Robinson visant à vérifier qu'elles répondent bien aux normes particulières applicables en matière de longueur. Les courroies « tournent » ainsi durant cinq heures, dans des conditions opérationnelles correspondant au plein régime du rotor, avant d'être approuvées en vue de leur installation sur un hélicoptère. Les courroies sont vendues accompagnée du formulaire 8130-3 (étiquette d'approbation de navigabilité aérienne) de la FAA (Federal Aviation Administration) des États-Unis) qui certifie l'origine et le bon état de service du composant. Le dossier de maintenance de l'hélicoptère accidenté contenait cette étiquette. De plus, la surface extérieure des courroies portait la marque imprimée de Robinson Helicopter confirmant qu'il s'agissait bien de pièces approuvées par le constructeur.

Les courroies trapézoïdales endommagées ont été mesurées une seconde fois sur le banc d'essai du constructeur et se sont révélées être de 0,1650 à 0,4760 pouce plus courtes que la longueur minimale tolérée. Outre le fait qu'elles ne répondaient pas à cette norme de longueur, les enquêteurs ont également constaté que les courroies de l'hélicoptère accidenté étaient trop courtes pour pouvoir être installées sur l'actionneur d'essai du constructeur. Dans des circonstances normales, elles auraient dû être rejetées à cette étape du processus de certification. Pour conclure, aucune anomalie n'avait été constatée quant à la longueur de ces courroies d'entraînement, au regard des valeurs de l'angle du levier d'embrayage mesurées pour régler la chaîne dynamique, lors de la révision aux cours de laquelle ces courroies avaient été installées.

Durant des essais ultérieurs, le personnel de Robinson Helicopter a essayé d'installer les courroies de l'hélicoptère accidenté sur un hélicoptère en état de service et a constaté que, si la plus courte des deux courroies ne pouvait y être installée, la plus longue de deux pouvait l'être, mais en recourant à une force excessive qui aurait dû éveiller des soupçons durant la procédure d'installation initiale.

Dans le cadre d'essais menés à la suite de l'accident, Robinson a soumis des courroies trapézoïdales neuves à des essais visant à déterminer s'il était possible que ces dernières rétrécissent lorsqu'elles sont plongées dans l'eau. Pour ce faire, ces courroies ont été « rodées »

sur le banc d'essai du constructeur pendant plus de cinq heures, le rotor tournant à plein régime, et le ventilateur du banc d'essai étant éteint afin de s'assurer que les courroies soient bien à une température égale ou supérieure à leur température normale de fonctionnement. Au terme de cette période d'essai, les courroies ont été immédiatement refroidies. L'écart maximal de longueur mesuré dans le cadre de ces essais, de l'ordre de 0,002 pouce, est négligeable.

Dans le cadre d'un autre essai mené à la suite de l'accident, et visant à étudier la longueur des courroies en fonction de la température, une courroie trapézoïdale en état de service a été mesurée, puis placée dans four à 200°F durant environ deux minutes, et ce, sans tension. La courroie a ensuite été mesurée alors qu'elle était encore tiède (179°F) et s'est révélée être plus courte de plus de 0,250 pouce que lors de la première mesure. Elle a, par la suite, conservé cette dernière longueur lorsqu'elle est revenue à la température ambiante.

Selon la *Gates Technical Information Library* (bibliothèque d'information technique Gates) et le *Heavy Duty V-Belt Drive Design Manual* (manuel de conception de courroies trapézoïdales pour utilisation intensive) du constructeur, une courroie trapézoïdale en fonctionnement est soumise à un échauffement interne et à un échauffement externe. L'échauffement interne (à l'intérieur de la courroie trapézoïdale) est dû à la torsion subie par la courroie autour des poulies. L'échauffement externe est dû au glissement de la courroie sur les poulies. Ainsi, un entraînement à courroies trapézoïdales où ces dernières sont utilisées comme dispositif de débrayage doit être spécialement conçu à cette fin pour que, lors de sa conception, il soit tenu compte de l'échauffement dû au glissement de la courroie lors des embrayages et des débrayages. Si un entraînement par courroies qui est également utilisé comme embrayage ne fonctionne pas correctement, il risque d'entraîner un échauffement excessif des courroies trapézoïdales qui peut entraîner un raccourcissement de ces dernières. Sur l'hélicoptère Robinson R-22, un dispositif d'entraînement à courroies est utilisé comme mécanisme d'embrayage et de débrayage des rotors sur le moteur.

Sur les hélicoptères R-22 (après le numéro de série 0225), le circuit d'embrayage est équipé d'un fusible de 1,5A ayant pour objet d'éviter que l'actionneur de tension des courroies ne surtende les courroies si ses microcontacts viennent à connaître une défaillance. La présence de ce fusible dans le circuit électrique permet également d'être averti d'une défaillance imminente des courroies d'entraînement, des roulements de l'actionneur, ou de tout autre composant du dispositif d'entraînement.

Le porte-fusible installé sur l'hélicoptère accidenté n'était pas une pièce d'origine de Robinson et n'était pas installé de la façon dont le font les employés de Robinson (c'est-à-dire raccordé, puis sécurisé au moyen d'une attache autoblocante). Ni le moment auquel le porte-fusible a été remplacé, ni la personne par laquelle ce remplacement a été effectué ne sont indiqués dans le journal de maintenance. L'examen du composant après l'accident a révélé les faits suivants :

- Le porte-fusible de remplacement a été raccordé au câblage électrique de l'hélicoptère au moyen d'une soudure. Un raccord par sertissure est généralement jugé préférable dans ce type d'utilisation, car un raccord par soudure peut être enclin à se briser sous l'effet des vibrations.

- L'un des raccords avait été fait au moyen d'une soudure à froid, et tous brins du fil n'étaient pas pris dans cette soudure.

- L'extrémité arrière du porte-fusible présentait des traces de corrosion.

- La façon dont le porte-fusible était raccordé par une attache autoblocante à la cellule de l'hélicoptère faisait que celui-ci était soumis à une charge de flexion. Cette flexion exercée sur le porte-fusible réduisait l'efficacité du ressort interne de ce dernier.

- Le porte-fusible était muni d'un fusible de 10 A, et non du fusible de 1,5 A requis.

- L'extrémité arrière du fusible de 10 A monté sur le conducteur était corrodée.

- La légère flexion exercée sur le porte-fusible entraînait une diminution de la vitesse du moteur à embrayage.

La présence de corrosion, tant sur le fusible monté en série que sur le porte-fusible, jumelée à la piètre qualité de la soudure du raccord, a entraîné un accroissement de la résistance dans le circuit électrique du moteur de l'actionneur de tension des courroies. De plus, la continuité électrique entre les bornes du porte-fusible a été mesurée avant que ce dernier et le fusible proprement dit ne soient examinés (et que, pour ce faire, les attaches autobloclantes ne soient donc enlevées). Ces mesures ont permis de constater que la résistance entre les bornes du porte-fusible pouvait osciller entre 1 et 1000 ohms lorsqu'on déplaçait très légèrement le porte-fusible. Une telle variation de la résistance ne pouvait avoir que des répercussions négatives sur le bon fonctionnement du moteur de l'actionneur.

Le manuel de maintenance de Robinson renferme, à la page 14.8, un *Clutch Actuator Electrical Trouble-shooting Guide* (guide de dépannage de l'actionneur électrique de l'embrayage) où il est expliqué que, lorsque l'actionneur est débrayé et qu'il refuse d'embrayer, deux des huit points devant être vérifiés dans le cadre de la maintenance afin de trouver l'origine du problème consistent à vérifier que le fusible de 1,5 A n'est pas grillé et que le câblage du moteur ne présente pas de circuit ouvert.

Ce n'est pas le premier cas de rupture ou de cheminement d'une courroie d'entraînement constaté sur un R-22. Le bureau de certification des aéronefs de la FAA à Los Angeles (LAACO) a récemment examiné un rapport du NTSB portant sur un accident de R-22, ainsi que 27 rapports de difficultés de service relatifs à des problèmes de courroies d'entraînement sur le R22. Au terme de cet examen, le LAACO a conclu dans son rapport que la conception actuelle des courroies du R-22, jumelée au matériel d'information nécessaire à leur utilisation sans risque, répond aux exigences de la base de certification du R-22 et ne présente pas de danger. Ce rapport indique également que, dans la plupart des cas, les problèmes constatés l'ont été sur des courroies relativement neuves (moins de 50 heures en service) et que ceux-ci étaient liés à un ou plusieurs des facteurs suivants :

- l'hélicoptère transportait une charge élevée, ou était en surcharge (un état de fait parfois aggravé par des turbulences);

- les poulies avaient été mal alignées lors de leur installation, ou bien leur alignement avait été faussé par l'installation initiale des courroies;

- la surface des poulies était abîmée (des courroies neuves avaient été montées sur des poulies usées ou corrodées);

- la tension de l'actionneur ne répondait pas aux spécifications;

- les courroies n'avaient pas été suffisamment tendues lors de leur installation.

Le Manuel de pilotage des hélicoptères de Transports Canada (TP9982F) définit l'autorotation comme la condition de vol dans laquelle le rotor n'est mû que par les forces aérodynamiques, aucune puissance n'étant fournie par le moteur. Un hélicoptère en autorotation demeure pleinement manoeuvrable, mais seulement en descente, et l'écoulement aérodynamique à travers le rotor se fait vers le haut, et non vers le bas comme dans le cas d'un vol motorisé. Le pilote doit maintenir le régime du rotor au-dessus d'un certain seuil défini de sorte que l'énergie cinétique du rotor en rotation puisse, en fin d'autorotation, permettre de ralentir la descente, puis de l'arrêter au moment de l'atterrissage.

Le rotor principal de l'hélicoptère Robinson R-22 est considéré comme un « rotor à faible inertie », ce qui signifie qu'il a tendance, en autorotation, à rapidement dissiper l'énergie qu'il a accumulée, ce qui entraîne une chute de régime du rotor et, incidemment, un décrochage aérodynamique. La Robinson Helicopter Company a publié, en septembre 1986, un avis de sécurité SN-24, intitulé *Low RPM Rotor Stall Can Be Fatal* (un décrochage dû à un trop faible régime du rotor peut se révéler fatal) où il est expliqué qu'un grand nombre de décrochages sont dus à un trop faible régime du rotor principal et quelles précautions peuvent être prises pour limiter un tel risque. Cet avis de sécurité a été distribué à tous les propriétaires et vendeurs de R-22, ainsi qu'à tous les abonnés au Pilot Operating Handbook (manuel d'exploitation du pilote).

Analyse

Les courroies trapézoïdales se sont avérées être plus courtes que la longueur minimale tolérée et être de longueurs très inégales. Pour que des courroies aussi courtes aient pu être installées, il aurait fallu qu'elles eussent présenté un défaut de fabrication du sous-traitant et que ce défaut n'eût pas été remarqué lors de l'une des multiples étapes du contrôle de qualité effectué par Robinson. Après l'accident, la plus courte des deux courroies n'a pas pu être réinstallée sur l'hélicoptère accidenté par le personnel du BST, ou sur un hélicoptère en état de service par le personnel du constructeur. Bien que la plus longue des deux courroies ait pu être réinstallée, il a fallu, pour ce faire, recourir à une force excessive, ce qui n'aurait pas pu passer inaperçu lors de son installation initiale. Il est donc jugé peu probable que ces courroies aient été trop courtes au moment de leur installation. On peut donc en déduire que ces courroies d'entraînement ont subi un raccourcissement après leur installation initiale.

L'actionneur de tension des courroies installé sur l'hélicoptère au moment de l'accident, de même que le moteur de l'actionneur qui avait été déposé au centre de maintenance juste avant l'accident, ont été soumis à des essais par le constructeur, Robinson Helicopter. Tous ces composants se sont révélés en état de service au regard des normes établies par ce dernier. Il est donc peu probable que ces composants aient été l'une des causes de l'accident.

La présence de corrosion, tant sur le fusible monté en série que sur le porte-fusible, jumelée à la piètre qualité de la soudure du raccord, a entraîné un accroissement de la résistance dans le circuit électrique du moteur de l'actionneur de tension des courroies, qui a dû ralentir, voire même arrêter, le moteur de l'actionneur. Un ralentissement du moteur de l'actionneur aurait eu pour effet d'accroître le temps requis pour mettre les courroies en tension. Compte tenu de l'échauffement des courroies lors de leur mise en tension, tout accroissement du temps requis pour mettre les courroies en tension auraient entraîné un accroissement de l'échauffement des courroies. Il a été démontré que les courroies ont tendance à raccourcir si elles sont exposées à des températures supérieures à celles de leur plage normale de fonctionnement. Il est donc probable que le ralentissement du fonctionnement du moteur de l'actionneur a accéléré le raccourcissement des courroies.

Tout raccourcissement des courroies après leur installation entraîne une modification du réglage et de l'alignement initial de l'arbre d'entraînement supérieur et un écart d'alignement accru des poulies. Il a été démontré qu'un mauvais alignement des poulies de la chaîne dynamique pouvait contribuer à une défaillance de cette dernière.

Les courroies, ayant raccourci dans des proportions différentes, étaient dépareillées. La plus courte des deux, se mettant en tension la première, recevait donc un pourcentage plus important de la puissance du moteur. Il a été démontré qu'une courroie, soumise à une puissance excessive, était plus encline à se briser.

Dans l'accident qui nous intéresse, et indépendamment de causes particulières, les deux courroies sont sorties de leur poulie durant le vol, entraînant un désaccouplage du moteur et du rotor. La perte de puissance subie par le rotor a contraint le pilote à se mettre en autorotation. Dans la phase finale de l'autorotation, le régime du rotor principal a chuté et la vitesse de descente a rapidement augmenté. Parce que le rotor du Robinson R-22 a une faible inertie, il était alors quasiment impossible pour le pilote de rétablir la situation, et ce, même en abaissant le collectif à fond. L'hélicoptère a percuté le plan d'eau avec un taux de descente élevée et une faible vitesse de translation vers l'avant.

Le pilote/propriétaire avait signalé des problèmes intermittents d'embrayage du rotor après la révision. Bien que le tapotage du moteur de l'actionneur de tension afin de permettre l'embrayage ait semblé constituer une solution provisoire, cette façon de faire, qui ne constituait pas une procédure de maintenance approuvée, a contribué à l'idée erronée que le moteur de l'actionneur pouvait être à l'origine du problème d'embrayage. Le respect du *Clutch Actuator Electrical Trouble-shooting Guide* (guide de dépannage de l'actionneur électrique de l'embrayage) du manuel de maintenance aurait permis de découvrir des défaillances du circuit électrique qui n'ont été découvertes qu'après l'accident.

Le fait qu'un fusible de 10 A ait été installé, à la place du fusible de 1,5 A requis, sur le circuit électrique de l'actionneur de tension des courroies a entraîné la disparition d'un dispositif de sécurité et aurait pu faire que, dans certaines circonstances, l'actionneur surtende et endommage les courroies.

L'enquête a donné lieu au rapport de laboratoire suivant :

LP 115/04 - *Lamp Analysis* (Analyse des voyants)

On peut obtenir ce rapport en s'adressant au Bureau de la sécurité des transports du Canada.

Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs

1. Les courroies trapézoïdales ont subi, après leur installation, un raccourcissement probablement dû à un échauffement excessif. Tout raccourcissement des courroies accroît les risques que ces dernières sortent de leur poulie et, ce faisant, entraînent un désaccouplage du moteur et du rotor.

2. La corrosion d'un fusible monté sur le conducteur et le mauvais raccord du porte-fusible ont entraîné un accroissement de la résistance dans le circuit électrique de l'actionneur de tension des courroies et ralenti le fonctionnement du moteur de cet actionneur. Ce ralentissement aura entraîné un accroissement du temps requis pour mettre les courroies en tension et, ce faisant, de l'échauffement subi par ces dernières durant les embrayages/débrayages, ce qui a probablement accéléré le raccourcissement des courroies.

3. Durant la phase finale de l'autorotation, le régime du rotor principal de l'hélicoptère a chuté au-dessous du seuil de sécurité, et l'énergie du rotor est donc devenue insuffisante pour arrêter la descente de l'hélicoptère.

Faits établis quant aux risques

1. Le recours à une procédure de circonstance (tapoter le moteur pour le faire embrayer) augmente les risques de défaillance du composant et, dans le cas qui nous intéresse, a dissimulé la véritable cause du problème d'embrayage.

2. Le fait d'avoir remplacé le fusible de 1,5 A requis sur le circuit électrique du moteur de l'actionneur de tension des courroies par un fusible de 10 A a entraîné la disparition d'un dispositif de sécurité et aurait pu faire que, dans certaines circonstances, l'actionneur surtende et endommage les courroies.

Le présent rapport met un terme à l'enquête du Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST) sur cet événement. Le Bureau a autorisé la publication du rapport le 25 octobre 2005.